

Технологии и средства механизации

УДК 502/504:626.8.002

А. И. НОВИЧЕНКО, И. М. ПОДХВАТИЛИН, В. И. ГОРНОСТАЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

А. В. ШКИЛЕНКО

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Управление «Спецмелиоводхоз»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В МЕХАНИЗАЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Рассмотрены вопросы имитационного моделирования технологического процесса строительства закрытой оросительной сети. Предложены пути решения оптимизационных задач по комплектованию технологического комплекса. Представлены результаты компьютерных экспериментов.

Оросительные сети, имитационное моделирование, технологические комплексы машин, оптимизация технологического процесса, мелиоративное строительство.

There are considered simulation questions of the technological process of building a closed irrigating network. The ways of deciding optimization problems on completing a technological complex are proposed. The results of computer experiments are given.

Irrigating networks, simulation, technological complexes of machines, optimization of a technological process, reclamation building.

Согласно федеральной целевой программе «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы», к первому уровню приоритетов государственной политики в сфере развития производственного потенциала относится мелиорация земель сельскохозяйственного назначения и введение в оборот неиспользуемых земель.

В мировой практике сельскохозяйственного производства комплексная мелиорация земель – решающее условие стабильно высокого производства сельскохозяйственной продукции. Так, например, в Китае доля мелиорированных земель достигает 44,4 %, в Индии

– 35,9 %, в США – 13,2 %. В России даже в период подъема мелиорации ее доля в площади сельскохозяйственных угодий не превышала 10 %, в настоящее время площадь мелиорированных земель составляет 7,9 % от площади пашни [1].

Для реализации поставленных задач программы необходимо не только разрабатывать современные технологии строительства мелиоративных сооружений, но и решать задачи по созданию эффективных систем комплексной механизации строительства с учетом передовых технологий. В последнее время в мелиорации широко используются трубопроводы из полиэтилена низкого давления (ПНД).

Это обусловлено более высокими эксплуатационными свойствами трубопровода, снижением затрат в строительстве и эксплуатации, а также удобством его прокладки.

Технология укладки полиэтиленового трубопровода регламентируется техническими нормами и требует бережного обращения на всех этапах технологического процесса. Например, напорный трубопровод ПНД диаметром 300 мм укладывают в траншею с коэффициентом заложения откосов 0,75 и глубиной до 2,3 м. Согласно нормативной документации, дно траншеи необходимо укрыть песчаной подушкой высотой 0,2 м с последующим выравниванием и уплотнением. После укладки трубопровода осуществляется подсыпка грунта в пазухи, образуемые между трубой и стенками траншеи на высоту, позволяющую укрыть трубу на 0,1 м. Затем осуществляется засыпка остальной части траншеи и окончательная планировка с помощью бульдозерной техники.

Параллельно процессу землеройных работ осуществляется сварка трубных плетей с помощью специализированной сварочной установки. После сварки плетей производится их опрессовка сжатым воздухом. Подготовленная плеть сваривается с уже уложенной в траншею, для чего предварительно на бровке траншеи оставляют конец плети, длина которого позволяет беспрепятственно выполнить соединение.

В целом технологический процесс строительства закрытой оросительной сети характеризуется высокой трудоемкостью и многообразием технологических операций. Процессы такого рода относятся к сложным объектам управления, которые характеризуются большим числом изменяющихся во времени параметров и действием большого количества факторов.

Формирование эффективного комплекса машин для проведения таких работ требует глубокой научной проработки в вопросах согласования технических параметров машин и их производительности.

В качестве объектов исследования

были предложены землеройные машины различных фирм-производителей (табл. 1).

Таблица 1
Краткая техническая характеристика объектов исследования

Модель	Мощность, кВт	Объем рабочего органа, м³	Масса, т	Стоимость, тыс.р.
Экскаваторы одноковшовые на гусеничном ходу				
Caterpillar 322 C	129	1	22,80	6400
Komatsu PC220-8	143	1	19,70	5800
ТВЭКС ЕТ-25	131	1	23,50	4830
Бульдозеры				
Caterpillar D6N XL	127	5,6	18,20	8700
Komatsu D65E-12	132	5,4	19,80	9800
ЧТЗ Б10М	132	5,7	18,80	3600
Экскаваторы-погрузчики				
Caterpillar 428D	62	0,8	7,10	3600
Komatsu WB97S 5	67	0,8	8,10	3600
МТЗ ЭО-2626.01	65	0,8	7,90	1700

Для описания работы технологического комплекса и его оптимизации принято решение об использовании методов имитационного моделирования. В качестве инструмента выбрали пакет Rand Model Designer (RMD) – визуальная среда объектно-ориентированного моделирования. Модель состоит из нескольких блоков, которые описывают константы и переменные технологических процессов работы комплекса.

Блоки программы описывают следующие технологические процессы:

- 1 – снятие почвенно-растительного слоя;
- 2 – разработка траншеи ведущей машиной;
- 3 – подсыпка песчаной подушки вспомогательными машинами;
- 4 – уплотнение песчаной подушки с помощью средств малой механизации;
- 5 – сварка трубных плетей с помощью сварочной установки и их опрессовка;
- 6 – стыковка трубных плетей и укладка в траншею;
- 7 – подсыпка пазух траншеи;

8 – окончательная засыпка грунта в траншею, планировка и рекультивация.

Возможность отображения техноло-

гических операций в графической форме позволяет уже на начальной стадии моделирования оценить согласованность работы машин комплекса (рис. 1).

L , м.п.

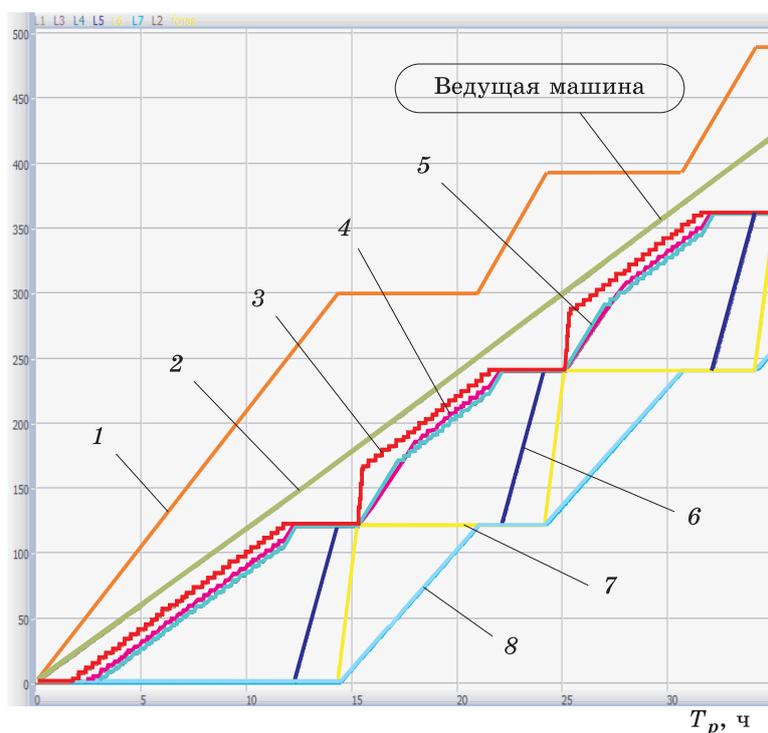


Рис. 1. Пример имитационного моделирования технологических операций процесса строительства закрытой оросительной сети: 1 – снятие растительного слоя почвы; 2 – разработка траншеи; 3 – подсыпка песчаной подушки; 4 – выравнивание и уплотнение песчаной подушки; 5 – сварка трубных плетей и опрессовка; 6 – стыковка и укладка трубной плети в траншею; 7 – обратная подсыпка пазух траншеи; 8 – обратная засыпка траншеи и рекультивация

Следующий этап – настройка имитационной модели, которая включает в себя несколько последовательных шагов (рис. 2).



Рис. 2. Схема процесса настройки имитационной модели

Адекватность результатов имитационного моделирования данным статистических наблюдений достигнута методом оценки дисперсий отклонений откликов модели от среднего значения откликов системы.

Начальный этап проведения компьютерных экспериментов представлен на рисунке в координатах «время – длина сооружения» (рис. 3). Применение различного

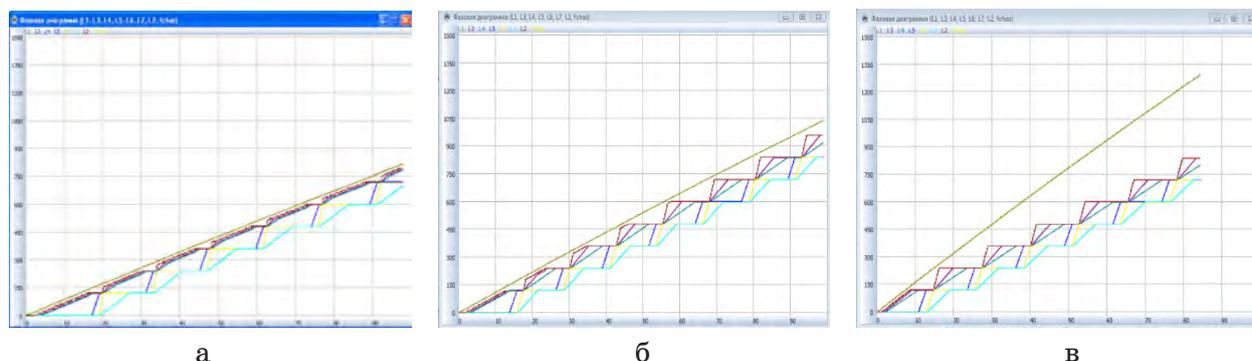


Рис. 3. Графики выполнения технологического процесса комплексом с различными параметрами рабочего органа ведущей машины: а – объем ковша – 0,8 м³; б – объем ковша – 1,0 м³; в – объем ковша – 1,2 м³

рабочего оборудования ведущей машины значительно отражается на согласованности работы комплекса.

На первом графике ведущая машина комплекса недостаточно производительна и сдерживает выполнение последующих операций (см. рис. 3а). На третьем графике ведущая машина значительно опережает последующие операции (см. рис. 3в). Среди проведенных экспериментов наилучший результат достигнут при объеме ковша ведущей машины 1,0 м³ (рис. 3б). При такой

компоновке комплекса машины работают достаточно согласованно и производительно.

Таким образом, на первом этапе моделирования производится определение необходимых технологических параметров комплекса для согласованной работы всех машин и максимальной производительности.

На следующем этапе моделирования вводятся показатели надежности машин, которые учитываются через коэффициент готовности, изменяющийся в зависимости от их наработки (табл. 2).

Таблица 2

Показатели надежности объектов исследования (за 1000 моточасов)

№	Состав комплекса	Среднее время восстановления, ч	Параметр потока отказов, единица/ч×10 ³	Коэффициент готовности	Затраты на ТО и ТР, тыс. р.	Затраты на устранение неисправностей, тыс. р.
Комплекс 1						
1	Caterpillar 322C	24	1,50	0,976	75,00	15,90
	Caterpillar 428D	53	2,25	0,947	50,60	8,70
	Caterpillar D6N XL	40	1,53	0,960	78,40	12,66
Комплекс 2						
2	Komatsu PC220-8	36	1,59	0,964	87,90	18,81
	Komatsu WB97S 5	45	1,86	0,955	49,60	16,80
	Komatsu D65E-12	42	1,53	0,958	76,38	16,95
Комплекс 3						
3	ТВЭК ЕТ-25	74	4,77	0,926	98,52	32,85
	МТЗ ЭО-2626.01	98	4,80	0,902	46,60	25,20
	ЧТЗ Б10М	78	4,23	0,922	70,36	15,87
Комплекс 4						
4	Caterpillar 322C	24	1,50	0,976	75,00	15,90
	МТЗ ЭО-2626.01	98	4,80	0,902	46,60	25,20
	ЧТЗ Б10М	78	4,23	0,922	70,36	15,87
Комплекс 5						
5	Komatsu PC220-8	36	1,59	0,964	87,90	18,81
	МТЗ ЭО-2626.01	98	4,80	0,902	46,60	25,20
	ЧТЗ Б10М	78	4,23	0,922	70,36	15,87

Результаты имитационного моделирования технологического процесса строительства закрытой оросительной сети сельскохозяйственных угодий поймы реки Яхромы с применением различных вариантов состава комплекса приведены на рис. 4.

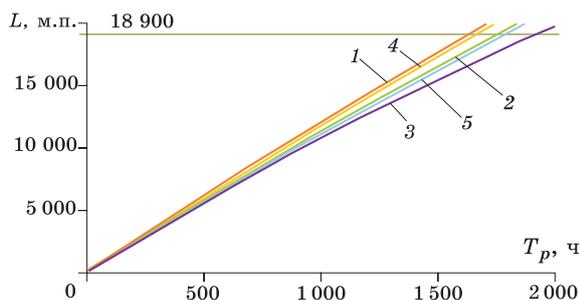


Рис. 4. Сравнительный анализ результатов компьютерных экспериментов (см. таблицу 2)

Эффективность эксплуатации технологического комплекса машин характеризуется величиной приведенных затрат на единицу выполненных работ.

При известных приведенных затратах на эксплуатацию машин комплекса, учитывая при этом приведенные издержки, связанные с устранением отказов машин, определим приведенные затраты на погонный метр сооружения:

$$Z_{\Pi} = \frac{C_{\text{э}} + C_{\text{р}}}{W_{\text{э}}} \rightarrow \min,$$

где Z_{Π} – приведенные затраты на погонный метр закрытой оросительной сети, р./погонный метр; $C_{\text{э}}$ – приведенные затраты на эксплуатацию машин комплекса, р./ч; $C_{\text{р}}$ – приведенные издержки, связанные с восстановлением работоспособности машин, р./ч; $W_{\text{э}}$ – среднечасовая эксплуатационная производительность комплекса, погонный метр/ч.

Приведенные затраты на эксплуатацию машин комплекса:

$$C_9 = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7,$$

где C_1 – амортизационные отчисления на машины, р./ч; C_2 – амортизационные отчисления на средства малой механизации, р./ч; C_3 – затраты на топливо и эксплуатационные материалы, р./ч; C_4 – затраты на техническое обслуживание и ремонт, р./ч; C_5 – заработная плата машинистам, р./ч; C_6 – заработная плата вспомогательным рабочим и ИТР, р./ч; C_7 – накладные расходы и прочие эксплуатационные затраты, р./ч.

Приведенные издержки, связанные с восстановлением работоспособности машин, определяли так:

$$C_P = (C_{3П} + C_{РР} + Y_{ПР}) / T_{ПР},$$

где $C_{3П}$ – средняя стоимость запасных частей машин комплекса, р.; $C_{РР}$ – средняя стоимость ремонтных работ машин комплекса, р.; $Y_{ПР}$ – ущерб от простоя

технологического комплекса, р.; $T_{ПР}$ – среднее время восстановления работоспособности, ч.

Суммарные приведенные затраты на погонный метр сооружения (без учета стоимости материалов и их транспортировки) характеризуются затратами на эксплуатацию машин комплекса и издержками от простоя комплекса по причине технических отказов машин.

Анализ проведенных экономических расчетов показывает, что наиболее эффективным комплексом по критерию минимума приведенных затрат является комплекс 4, состоящий из ведущей машины Caterpillar 322С и вспомогательных машин: экскаваторов-погрузчиков МТЗ ЭО-2626.01 и бульдозера ЧТЗ Б10М (рис. 5, 6).

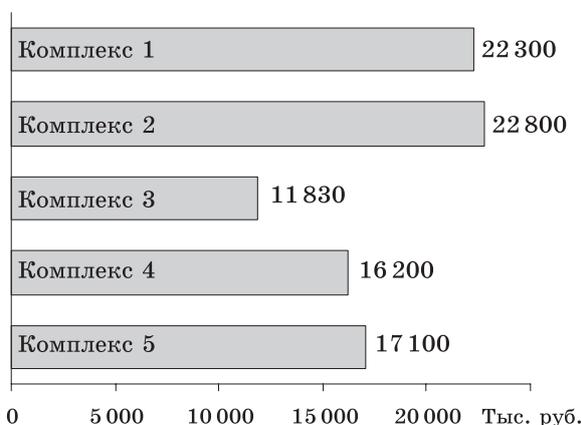


Рис. 5. Суммарная стоимость технологического комплекса машин

Анализ стоимости машин комплексов с учетом стоимости средств малой механизации демонстрирует лидирующую позицию комплекса 3, однако это преимущество теряется из-за низкой производительности комплекса, что в результате удорожает выполненные работы (см. рис. 5, 6).

Выводы

В проведенных исследованиях наилучшим результатом признан вариант состава комплекса 4. Данный комплекс характеризуется наименьшими приведенными затратами на погонный метр сооруженного трубопровода оросительной сети – 750,3 р. и сравнительно низкой стоимостью машин комплекса. Учитывая специфику выполняемых работ и их сезонность, можно сделать вывод о целесообразности приобретения этих машин для выполнения работ по сооружению оросительной сети поймы реки Яхромы.

1. Развитие мелиорации сельскохозяй-

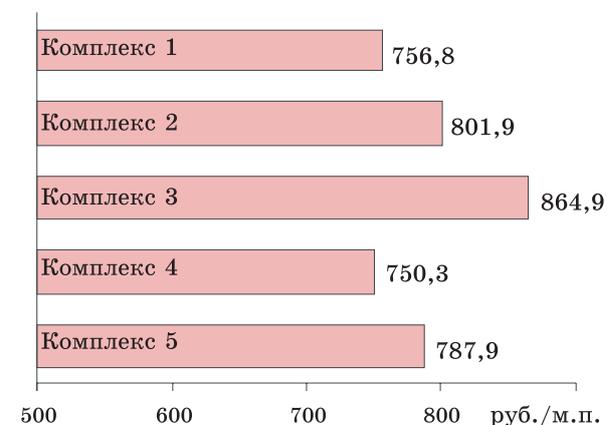


Рис. 6. Приведенные затраты на погонный метр оросительной сети

ственных земель России на период до 2020 года: Федеральная целевая программа России / Госпрограммы: URL: fcr.economy.gov.ru (дата обращения 01.06.13).

2. Зайдельман Ф. Р. Мелиорация почв: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 448 с.

Материал поступил в редакцию 24.05.12.

Новиченко Антон Игоревич, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (903) 002-17-48

E-mail: antonypirs@mail.ru

Подхватилин Иван Михайлович, соискатель, ассистент

Тел. 8 (926) 161-66-32

E-mail: tbo-79@rambler.ru

Горностаев Владислав Игоревич, студент

Тел. 8 (916) 482-69-73

E-mail: vlodislavik@mail.ru

Шкиленко Алексей Владимирович, ведущий специалист

Тел. 8 (916) 591-43-81